

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE SULFATO DE ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ; NUEVA  
CONCEPCIÓN, ESCUINTLA  
TESIS DE GRADO

**REYES ALBERTO GARCÍA GARCÍA**  
CARNET 29686-05

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE SULFATO DE ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ; NUEVA  
CONCEPCIÓN, ESCUINTLA

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**REYES ALBERTO GARCÍA GARCÍA**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, SEPTIEMBRE DE 2018  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
ING. CÉSAR ESTUARDO DE LA CRUZ MUÑOZ

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN

Guatemala 28 de Septiembre de 2018

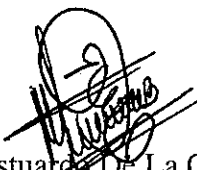
Miembros del Consejo  
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar  
Campus Central

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante: Reyes Alberto García García, carné 29686-05, titulada: "EVALUACIÓN DE SULFATO DE ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ; NUEVA CONCEPCIÓN, ESCUINTLA".

Considero que el informe del trabajo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad, por lo que sugiero se emita autorización para su impresión.

Atentamente:



Ing. César Estuardo De La Cruz Muñoz  
Colegiado No. 3833  
Código URL 23987



**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante REYES ALBERTO GARCÍA GARCÍA, Carnet 29686-05 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06170-2018 de fecha 22 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DE SULFATO DE ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ;  
NUEVA CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 28 días del mes de septiembre del año 2018.

  
  
\_\_\_\_\_  
**LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ, DECANA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar**

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Msc. Anaite Herrera, por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

Ing. Cesar Estuardo De La Cruz, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Ing. Adán Rodas, por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

## DEDICATORIA

**A:**

**Dios:** Quien me dio la sabiduría, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendijo con los recursos necesarios para llevar a cabo mi formación académica.

**Mis Padres:** Reyes García Sermeño y Zoila Marina García Pérez, a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, su tiempo, sus consejos en el momento oportuno y por su ejemplo a seguir.

**Mi Esposa:** Sulmi Patricia Aguilar a quien amo mucho, por la constante motivación de superación que me brinda.

**Mi Hija:** Valery Monserrath García Aguilar a quien amo mucho, por ser la razón de mi vivir, mi alegría y la motivación constante de superación.

**Mi Familia:** Mis hermanas y Mi hermano, que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

**Mis Amigos:** Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo profesional.

## ÍNDICE

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Origen del Maíz .....	3
2.2 Descripción botánica.....	3
2.3 Clasificación botánica del maíz .....	4
2.4 Crecimiento y desarrollo de etapas vegetativas en el maíz.....	4
2.4.1 Germinación y emergencia (VE).....	4
2.4.2 Etapa V6. ....	4
2.4.3 Etapa V9. ....	5
2.4.4 Etapa VT.....	5
2.5 Requerimientos para el desarrollo óptimo del cultivo de maíz.....	5
2.5.1 Fotoperiodo.....	5
2.5.2 Temperatura.....	6
2.5.3 Suelos.....	6
2.5.4 Agua.....	6
2.6 Prácticas agronómicas para el cultivo de maíz .....	7
2.6.1 Análisis de suelo.....	7
2.6.2 Preparación del terreno.....	7
2.6.3 Época de siembra.....	7
2.7 Siembra del maíz.....	7
2.8 Control de malezas en el cultivo de maíz .....	8
2.9 Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz .....	8
2.9.1 Gusano cogollero ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ).....	8
2.9.2 Gusano elotero ( <i>Elicoverpa zea</i> ). ....	9
2.10 Fertilización del maíz.....	9
2.11 Nutrientes minerales para el maíz.....	10
2.11.1 Micronutrientes.....	10
2.12 Zinc .....	10
2.13 pH del suelo y disponibilidad de zinc .....	11



2.14	Interacción del zinc con el fósforo en el suelo .....	11
2.15	Materia orgánica y zinc.....	11
2.16	Irrigación y zinc .....	11
2.17	Actividad biológica del suelo y disponibilidad de zinc .....	12
2.18	Movimiento del zinc en el suelo .....	12
2.19	Zinc en las plantas.....	12
2.20	Uso de zinc para aumentar la productividad en maíz .....	13
2.21	Descripción de la planta de maíz .....	14
2.21.1	Tallo.....	15
2.21.2	Inflorescencia.....	15
<b>3.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
3.1	Definición del problema y justificación de la investigación.....	16
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
4.1	General .....	17
4.2	Específicos .....	17
<b>5.</b>	<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>18</b>
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
6.1	Localización del experimento .....	19
6.2	Material experimental .....	19
6.3	Factor estudiado .....	19
6.4	Descripción de los tratamientos .....	19
6.5	Diseño experimental .....	20
6.6	Modelo estadístico .....	20
6.7	Unidad experimental.....	20
6.8	Croquis de campo.....	21
6.9	Manejo del experimento.....	22
6.9.1	Preparación del terreno y la semilla. ....	22
6.9.2	Siembra.....	22
6.9.3	Fertilización.....	22
6.9.4	Control de malezas. ....	23
6.9.5	Manejo de plagas.....	24

6.9.6	Cosecha.....	24
6.10	Variables respuesta .....	24
6.10.1	Rendimiento del maíz (kg/ha). .....	24
6.10.2	Contenido de zinc foliar (ppm).....	24
6.10.3	Altura de plantas (cm). .....	24
6.11	Análisis de la información .....	25
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
7.1	Rendimiento de maíz (kg/ha).....	26
7.2	Contenido de zinc foliar (ppm) .....	27
7.3	Altura de planta (cm) .....	28
7.4	Análisis económico .....	29
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>34</b>
11.1	Análisis foliares.....	34
11.2	Fotografías de ejecución de tesis .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1.	Rendimiento de maíz con aplicación de sulfato de zinc	14
Tabla 2.	Tratamientos de sulfato de zinc al suelo en el cultivo de maíz	19
Tabla 3.	Dosis utilizada en cada uno de los tratamientos (kg/ha)	23
Tabla 4.	Dosis utilizada en la primera aplicación a cada tratamiento (kg/ha)	23
Tabla 5.	Dosis utilizada en la segunda aplicación a cada tratamiento (kg/ha)	23
Tabla 6.	Dosis utilizada en la tercera aplicación a cada tratamiento (kg/ha)	24
Tabla 7.	Análisis de varianza para la variable rendimiento de maíz (kg/ha)	26
Tabla 8.	Prueba de separación de medias para la variable rendimiento de maíz (kg/ha)	26
Tabla 9.	Análisis de varianza para la variable contenido de zinc foliar (ppm).	27
Tabla 10.	Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm)	28
Tabla 11.	Análisis económico de la aplicación de zinc en maíz.	29
Tabla 12	Análisis foliares por tratamiento y repetición	34
Tabla 13.	Análisis de macronutrientes por tratamiento y repetición	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1.	Unidad experimental	21
Figura 2.	Distribución de los tratamientos en el campo	21
Figura 3.	Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) para los análisis foliares por tratamiento	36
Figura 4.	Trazo de unidades experimentales	37
Figura 5.	Día de la siembra de cada unidad experimental	37-
Figura 6.	Dosis de fertilizante por unidad experimental	38
Figura 7.	Aplicación del fertilizante por unidad experimental	39
Figura 8.	Medición de alturas en campo	40

# **EVALUACIÓN DE SULFATO DE ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ, NUEVA CONCEPCIÓN, ESCUINTLA**

## **RESUMEN**

La investigación se realizó en el municipio de la Nueva Concepción, departamento de Escuintla. Se evaluó el efecto de la aplicación de zinc sobre el rendimiento de grano por hectárea, altura de planta y contenido de zinc foliar, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cinco tratamientos, incluyendo un testigo, sin aplicación. Para la ejecución del experimento se requirió semilla de maíz del híbrido Dekalb DK390, y se suministró zinc hepta-hidratado como fuente de zinc. Las dosis evaluadas fueron 0.5 kg/ha, 1 kg/ha, 3 kg/ha y 5 kg/ha; cada unidad experimental contó con ocho surcos de diez metros de largo. Bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento el mejor rendimiento lo presentó el testigo sin aplicación, con 7421.56 kg/ha de grano, seguido del tratamiento 3, con una dosis de 3 kg/ha de zinc, que presentó un rendimiento de 7028.40 kg/ha de grano. El testigo presentó una rentabilidad del 111%, y en segundo lugar el tratamiento 3 con 96%. Las variables de altura de planta y contenido de zinc foliar no presentaron diferencias estadísticas significativas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en Guatemala; Los granos básicos son la principal fuente de carbohidratos (65%) y de proteína (71%) en la dieta de los Guatemaltecos. El principal cultivo de los granos básicos es el maíz. La contribución del maíz en la ingesta per cápita de energía y proteína es alta: 37.7% y 36.5%, la mayor parte de la población lo consume diariamente (Segura, 2008).

El maíz resulta ser de suma importancia dentro de la dieta de la población guatemalteca por lo que, es muy importante que los productores cuenten con información adecuada sobre aspectos agronómicos y nutricionales del cultivo (Fuentes, 2002).

Para una producción adecuada de maíz es importante suministrar los nutrientes esenciales para el buen desarrollo de la planta. Dentro de estos elementos, el zinc es requerido por los cultivos en pequeñas cantidades; sin embargo, es esencial para el crecimiento normal de la planta y el desarrollo. El zinc tiene varias funciones importantes en las plantas, incluidas las reacciones enzimáticas, la fotosíntesis, la transcripción del ADN y la actividad de auxina.

Suministros inadecuados de zinc pueden resultar en una reducción significativa en el rendimiento de los cultivos y en su calidad. De hecho, el rendimiento puede incluso reducirse en más del 20 % antes de que ocurran síntomas visuales de deficiencia. Es un componente clave de muchas enzimas y proteínas. Tiene un papel importante en una amplia gama de procesos, tales como la producción de la hormona de crecimiento y el alargamiento de entrenudos. Un suministro adecuado de zinc es esencial para obtener rendimientos rentables. El costo para el agricultor asociado con la pérdida de producción, es mucho mayor que el costo del análisis de suelo y tejido vegetal, así como la aplicación de fertilizantes con zinc.

Un buen programa de fertilización, basado en adecuadas prácticas de manejo que incluyan análisis de suelos, análisis foliares, conocimientos prácticos de manejo de cultivos, puede prevenir deficiencias de los nutrientes esenciales y producir cosechas que sean económicamente rentables a

los agricultores. La fertilización con zinc cuando sea necesaria, puede ser la diferencia entre una alta y una baja producción.

Por estas razones se realizó esta investigación, para evaluar el efecto de la aplicación de cuatro dosis de sulfato de zinc sobre el rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) en el municipio de la Nueva concepción, Escuintla.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen del Maíz

La diversidad genética del maíz a nivel mundial es amplia. Existen más de 250 razas clasificadas. Mesoamérica es considerada centro de origen, donde se cultiva desde las épocas precolombinas. En Guatemala se han clasificado 13 razas de maíz (Fuentes, 2002).

Se mencionan dos lugares como el posible punto de origen del maíz. El primero son los valles altos del Perú, Ecuador y Bolivia; el segundo es la región sur de México y la América Central (Segura, 2008).

### 2.2 Descripción botánica

El maíz es una monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae, Tribu Maydae, con dos géneros: *Zea* y *Tripsacum*. Su nombre científico es *Zea mays* (maíz común). Es una gramínea anual, robusta, con una altura de uno a cuatro metros, tiene hojas alternas en ambos lados del tallo; las hojas son de 30 a 100 cm de largo y de 3 a 12 cm de ancho, la base es redondeada, el ápice más angosto y agudo y los márgenes frecuentemente ásperos o irregulares, de color verde en la parte superior, finamente pilosos o glabros en ambas superficies. Es una planta monoica con flores masculinas en espiga superior y la inflorescencia femenina se encuentra envuelta entre 8 o 13 brácteas largas, duras y finamente pubescentes, los estilos son largos, morados o blanco negruzco en forma de péndulos, con un estigma morado bífido que sobresale considerablemente de las brácteas. Los frutos o cariopsis del maíz son los mismos granos o semillas; los cuales tienen una forma ovoide con ápice agudo redondeado; su metabolismo fotosintético es C4 (Fuentes, 2002).



### 2.3 Clasificación botánica del maíz

La clasificación botánica del maíz Según Doebley (2003) y USDA (2009) citado en Orellana y Dardón, se describe a continuación (Orellana & Dardón, s.f.)

Reino	Plantae
División	Magnolophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea Mays</i> L.

### 2.4 Crecimiento y desarrollo de etapas vegetativas en el maíz

#### 2.4.1 Germinación y emergencia (VE)

Una vez sembrada, la semilla de maíz absorbe agua del suelo y comienza a crecer. La etapa VE (emergencia) llega cuando el coleóptilo brota de la superficie del suelo. Las plantas de maíz pueden emerger dentro de los cinco a siete días siguientes a la siembra, en condiciones de temperatura y humedad ideales. Pero bajo condiciones frías y húmedas, o incluso bajo condiciones muy secas, pueden tomar más de dos semanas para emerger. El punto de crecimiento (nudo apical) se encuentra de 2 a 4 centímetros por debajo de la superficie. El sistema seminal de raíces está creciendo de la semilla. Las raíces seminales hacen mucho del trabajo temprano, pero el crecimiento disminuye después de VE, cuando las raíces nodales comienzan a crecer (Ritchie & Hanway, 2003).

#### 2.4.2 Etapa V6

El punto de crecimiento y la espiga se elevan por encima de la superficie del suelo cerca de la etapa V6. El tallo comienza a alargarse. El sistema de raíces nodales crece a partir de los tres a

cuatro nudos más bajos del tallo. Algunos brotes de espigas o macollos son visibles. El desarrollo de los macollos (o hijuelos) depende del híbrido específico, densidad de población, fertilidad y otras condiciones (Ritchie & Hanway, 2003).

### **2.4.3 Etapa V9**

La disección de una planta en etapa V9 muestra varios brotes de mazorcas (mazorcas potenciales). Estos se desarrollan en todos los nudos de la parte aérea, excepto los últimos seis a ocho nudos debajo de la espiga. Los brotes inferiores de mazorca crecen rápido al principio, pero solo uno o dos de los más altos desarrollan una mazorca cosechable. La espiga comienza a desarrollarse rápidamente. Los tallos se prolongan a medida que los entrenudos crecen. Para V10, el tiempo entre etapas de hojas nuevas se acorta a alrededor de dos a tres días (Ritchie & Hanway, 2003).

### **2.4.4 Etapa VT**

La etapa VT llega cuando la última rama de la espiga es completamente visible. La etapa VT comienza entre dos o tres días antes de la emergencia de los estigmas. La planta está cerca de alcanzar su altura máxima. Inicia la liberación de polen, que dura de una a dos semanas. El tiempo entre VT y R1 puede fluctuar considerablemente dependiendo del híbrido y del medio ambiente (Ritchie & Hanway, 2003).

## **2.5 Requerimientos para el desarrollo óptimo del cultivo de maíz**

### **2.5.1 Fotoperiodo**

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos. La floración se puede retrasar a medida que el fotoperiodo excede de un valor mínimo. El fotoperiodo crítico oscila entre 11 y 14 horas y en promedio 13.5 horas (Bolaños & Edmeadea, 1993).

### **2.5.2 Temperatura**

El maíz requiere una temperatura entre 25 y 30 grados centígrados; lugares con bastante incidencia de luz solar, es importante indicar que en lugares con climas húmedos su rendimiento es más bajo. Puede soportar temperaturas desde los 8 hasta los 30 grados centígrados; fuera de este rango existe problema de absorción de nutrientes minerales y agua; que pueden causar que la planta entre en un estado vegetativo y esto provoque reducción en el rendimiento del grano (Fuentes, 2002).

### **2.5.3 Suelos**

El cultivo requiere suelos de tipo intermedio, con buen drenaje, sueltos, aireados, planos o ligeramente quebrados. No son aconsejables suelos arcillosos debido a su alta retención de humedad, ya que esta condición disminuye el aire del suelo, esencial para el desarrollo de la planta (Fuentes, 2002).

### **2.5.4 Agua**

El umbral mínimo de precipitación para poder cosechar granos es 150 mm. El maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo; aunque esto depende mucho del lugar donde se establezca el cultivo debido a que en algunos lugares de Guatemala las temperaturas son elevadas y la evapotranspiración es mayor (Lafitte, 1994).

El requerimiento en mm de agua para el cultivo del maíz dependiendo de la etapa es el siguiente: desarrollo vegetativo 300 mm, floración 200 mm y fructificación 300 mm; haciendo un total de 800 mm (Jugenheimer, 1990).

## **2.6 Prácticas agronómicas para el cultivo de maíz**

### **2.6.1 Análisis de suelo**

Antes de la siembra de cualquier cultivo se debe realizar un análisis de suelos; tanto físico como químico, para conocer las características del suelo. Las muestras se deben tomar a una profundidad entre 20 y 30 centímetros; y se deben obtener entre cinco y diez sub muestras por hectárea (Jugenheimer, 1990).

### **2.6.2 Preparación del terreno**

Depende del tipo de terreno, oportunidad financiera y disponibilidad de maquinaria y equipo. Se puede realizar de la siguiente forma; se pasa un arado, dos pasos de rastra y luego surqueo y siembra mecanizada, esta es la forma de mayor tecnología; la segunda es con tecnología intermedia, un paso de arado, dos de rastra y un surcado con bueyes; la de menor costo es realizar un paso de arado y un surcado con bueyes. En las regiones donde no se pueda realizar tracción con maquinaria, se recomienda pasar arado, rastra, sembradora y cultivadora con tracción animal (Jugenheimer, 1990).

### **2.6.3 Época de siembra**

En el maíz la siembra de primera se realiza durante los días con mayor precipitación pluvial; coincide con los meses de mayo y junio, aunque es la época en la cual el cultivo tiene mayor incidencia de plagas y enfermedades (Fuentes, 2002).

## **2.7 Siembra del maíz**

La semilla es uno de los componentes que más incide en la productividad. Es conveniente sembrar semilla mejorada de variedades genéticamente puras. Los híbridos producen mayores rendimientos, pero son más exigentes en cuanto al manejo, principalmente en fertilización para que puedan expresar todo su potencial productivo. La densidad de población por unidad de área

depende da varios factores. Entre los más importantes están los siguientes: fertilidad del suelo, humedad disponible, porcentaje de germinación y características agronómicas de la variedad. Por lo general se siembra entre 0.15 m y 0.3 m entre plantas y entre 0.6 y 0.9 metros entre surcos (Cristiani, 1984).

## **2.8 Control de malezas en el cultivo de maíz**

La mayor competencia se observa en los primeros 35-40 días después de la siembra. El manejo de las malezas ocupa una gran cantidad de mano de obra en los diferentes sistemas de producción de maíz, lo que provoca incremento en los costos de producción. Generalmente la deshierba se realiza con el paso de dos o tres limpieas como promedio a lo largo del ciclo de cultivo, utilizando azadón ó machete. En sistemas de producción de mayor disponibilidad de recurso, las limpieas mecánicas se realizan con tracción animal o uso de cultivadoras. Una de las formas de eliminar la maleza es utilizando productos químicos a base de paraquat y glifosato, en dosis de 2.14 a 2.86 L/ha (Fuentes, 2002).

## **2.9 Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz**

De acuerdo a la etapa fenológica el maíz puede ser afectado por la presencia de plagas, enfermedades y malezas que pueden incidir negativamente, disminuyendo su potencial de rendimiento. Hay una cantidad de insectos que se encuentran en el suelo y se alimentan de las semillas, raíces y tallos tiernos, impidiendo con esto que las plantas se desarrollen normalmente, ocasionando densidades de población inadecuadas. Entre los insectos más comunes en el suelo están: gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) gusano alambre (*Aeolus* spp), escarabajos, nemátodos y áfidos de las raíces. La gallina ciega se encuentra causando daño económico en todos los suelos que se usan para cultivar el maíz y otros cultivos (Segura, 2008).

### **2.9.1 Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)**

El cogollero es la plaga de mayor importancia económica en el cultivo del maíz. Este es un masticador del tejido vegetal de plantas jóvenes, también se comporta como un cortador, haciendo

el daño durante la noche. Aparte de las hojas dañadas un síntoma típico de la presencia del insecto es el estiércol fresco del gusano sobre el cogollo (Segura, 2008).

### **2.9.2 Gusano elotero (*Elicoverpa zea*)**

El elotero es una plaga que afecta a ambos órganos sexuales de la planta, el gusano elotero es el insecto que más daño le causa a la mazorca. Los huevos son ovipositados en los estigmas en donde inicia su ciclo de vida (Lafitte, 1994).

### **2.10 Fertilización del maíz**

El maíz como todo cultivo requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo a su potencial genético. Si se requiere conocer la fertilidad natural del suelo se requiere que el productor tome una muestra de suelo de su terreno y la remita a un laboratorio para su respectivo análisis físico-químico (Bolaños & Edmeadea, 1993).

Inicialmente es deseable disponer de un análisis del suelo para determinar el contenido de los principales nutrientes del terreno. Estos resultados determinarán la mejor fertilización para el terreno seleccionado. Para las condiciones del trópico bajo de Guatemala por varios años se ha evaluado la respuesta del maíz a la fertilización con N, P, K y S, resultando respuestas significativas únicamente al N. Al relacionar estos resultados con los análisis económicos, se recomienda la aplicación de 100 kg de N/ha, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, y 0 kg de K<sub>2</sub>O/ha, que equivale a la utilización de 291.6 kg/ha de 20-20-0, distribuida en dos aplicaciones. Como primera aplicación, en los primeros 10 días después de la siembra y 97.2 kg/ha de Urea al 46% a los 35 a 40 días después de la siembra (dds). Estos niveles posibilitan maximizar los rendimientos del grano de maíz. Es importante indicar que las aplicaciones de los fertilizantes requieren que exista suficiente humedad en el suelo (Fuentes, 2002).

## **2.11 Nutrientes minerales para el maíz**

El maíz necesita ciertos elementos minerales en cantidades adecuadas para desarrollarse bien. Esos nutrientes son en general proporcionados por el suelo y por los fertilizantes aplicados. Aunque la planta de maíz requiere 13 nutrientes diferentes, sólo tres son necesarios en cantidades relativamente grandes: el nitrógeno, el fósforo y el potasio, estos son los nutrientes que con más frecuencia limitan la producción de maíz, aunque el azufre, magnesio y en menor cantidad un micronutriente como el zinc pueden ser restricciones importantes en ciertas zonas.

A veces el rendimiento puede ser reducido en un 10-30% por carencias de nutrientes importantes antes de que aparezcan síntomas claros de carencia en el campo (Lafitte, 1994).

### **2.11.1 Micronutrientes**

El gran aumento de la productividad del maíz ha aumentado considerablemente la demanda de micronutrientes para este cultivo. En los suelos donde se han encontrado problemas de deficiencia de micronutrientes en el pasado, los niveles de rendimiento fueron relativamente bajos. Por lo general son más frecuentes de encontrar en suelos de textura gruesa que en los suelos de textura más fina, principalmente debido a su baja capacidad de intercambio y tampón y menor capacidad para contener materia orgánica (Olson & Lucas, 1966).

## **2.12 Zinc**

El zinc (Zn) fue uno de los primeros micronutrientes o elementos menores reconocido y aceptado como esencial para los cultivos y con mucha frecuencia es uno de los factores limitantes para obtener altos rendimientos. Aunque se requiere en pequeñas cantidades, una alta productividad es prácticamente imposible si el suelo es deficiente en este nutriente y no se corrige con aplicaciones al suelo o al cultivo. El zinc tiene varias funciones dentro de las plantas. Es importante en la producción de hormonas que regulan el crecimiento y además es esencial en varias reacciones del metabolismo de los cultivos. Es necesario en la producción de la clorofila y los carbohidratos. No es móvil dentro de la planta, por lo que los síntomas de deficiencias aparecen primero en las hojas más nuevas (Castellanos, 2015).

### **2.13 pH del suelo y disponibilidad de zinc**

La disponibilidad del zinc se reduce de manera significativa en la medida que sube el pH del suelo. Varias investigaciones han demostrado que su disponibilidad se puede reducir hasta 30 veces por cada unidad de pH que se aumente dentro del rango entre pH 5.0 a 7.0. Las mayores deficiencias se presentan entre el rango de 7.0 a 8.4 y esto es más común en suelos calcáreos (presencia de  $\text{CaCO}_3$  libre) (Castellanos, 2015).

### **2.14 Interacción del zinc con el fósforo en el suelo**

Las deficiencias de zinc pueden ocurrir en suelos con alta disponibilidad de fósforo. Esto no es común en terrenos de nuestro país, ya que la mayoría son también muy deficientes en fósforo. Algunos investigadores han demostrado una interacción P-Zn, es decir, que un exceso de uno de ellos puede reducir la disponibilidad del otro y viceversa. Aunque aplicando fósforo a un suelo que contenga suficiente zinc no induce a una deficiencia de éste, se sugiere que en suelos con elevados niveles de fósforo, si se aplican dosis adicionales para garantizar altos rendimientos, se aplique 0.45 kg de zinc por cada 9 kg de fósforo aplicadas (Castellanos, 2015).

### **2.15 Materia orgánica y zinc**

Una cantidad considerable de zinc puede ser fijada en la fracción orgánica de suelos con alto contenido de materia orgánica, haciéndolo poco disponible a los cultivos. También puede ser inmovilizado en los cuerpos de algunos microorganismos, especialmente cuando se han agregado al suelo excrementos de animales (Castellanos, 2015).

### **2.16 Irrigación y zinc**

Cuando los terrenos han sido nivelados para mejorar el manejo del agua de irrigación, se producen deficiencias de zinc debido principalmente a la eliminación de materia orgánica y/o a la compactación de los suelos (Castellanos, 2015).



## **2.17 Actividad biológica del suelo y disponibilidad de zinc**

La disponibilidad de zinc y fósforo en el suelo es incrementada por la presencia de ciertos hongos conocidos como micorrizas, los cuales forman una relación simbiótica con las raíces de los cultivos. La remoción de la capa vegetal de los terrenos, combinado con un arado profundo, pueden destruir y/o inactivar los hongos benéficos y limitar la habilidad de los cultivos para asimilar el zinc (Castellanos, 2015).

## **2.18 Movimiento del zinc en el suelo**

Mediante un proceso conocido como difusión, el cual consiste en un lento movimiento y a distancias muy limitadas en el suelo. Esto significa que la humedad en el suelo debe ser adecuada para que este movimiento sea más efectivo y los cultivos puedan asimilar el zinc presente. Además, los cultivos deben tener un sistema de raíces muy desarrolladas y debe haber una concentración importante de zinc en los terrenos. Esto significa que en condiciones de sequías y un sistema radicular poco desarrollado provocarán una deficiencia de este micronutriente. Un buen programa de fertilización basado en adecuadas prácticas de manejo que incluyan análisis de suelos, análisis foliares, conocimientos prácticos de manejo de cultivos, puede prevenir deficiencias de los nutrientes esenciales y producir cosechas que sean económicamente rentables a los agricultores. La fertilización con zinc cuando sea necesaria, puede ser la diferencia entre una alta y baja producción (Castellanos, 2015).

## **2.19 Zinc en las plantas**

El zinc es esencial en el funcionamiento de muchos sistemas enzimáticos en la planta. Este elemento controla la producción de importantes reguladores de crecimiento que afectan el crecimiento y desarrollo de tejido nuevo. Uno de los primeros indicadores de deficiencia de zinc es la presencia de plantas pequeñas que resultan de la escasez de reguladores de crecimiento. Los síntomas de deficiencia de zinc pueden incluir: plantas pequeñas, áreas de color verde claro entre las nervaduras de las hojas nuevas, hojas pequeñas, entrenudos cortos, bandas anchas de color

blanco a cada lado de la nervadura central en las hojas jóvenes de maíz (Melgar, Lavandera, Torres, & Ventimiglia, 2001).

Las recomendaciones de zinc varían considerablemente de cultivo a cultivo. Los análisis de suelo y foliares son herramientas importantes para diagnosticar y corregir las deficiencias de zinc. Es mejor corregir las deficiencias de zinc antes o cuando se siembra el cultivo. El zinc puede aplicarse al suelo al voleo o en banda. Las aplicaciones anuales al voleo pueden requerir de 10 a 20 kg de Zn/ha y esta aplicación puede durar de 4 a 5 años. Las aplicaciones anuales en banda pueden requerir solamente de 3 a 4 kg/ha. Las dosis a aplicarse dependen del contenido de zinc del suelo y del cultivo. En suelos de pH alto, donde se espera inmovilización del zinc, o cuando se presentan situaciones de emergencia en un cultivo específico, se puede aplicar zinc en aspersiones foliares. Las aspersiones foliares generalmente requieren de 0.5 a 1.0 kg de Zn/ha (Melgar et. al., 2001).

## **2.20 Uso de zinc para aumentar la productividad en maíz**

El boro y zinc son los micronutrientes que en situaciones de deficiencia provocan disminuciones en los rendimientos; relativamente fáciles de corregir con fertilizaciones, logrando aumentos económicos de los rendimientos y en la producción de maíz. Durante el 2001 se realizaron experimentos en parcelas de 49 metros cuadrados de maíz; utilizando dosis entre 0.5 y 4 kilogramos de zinc hepta hidratado, logrando aumentar levemente la producción (Melgar et. al., 2001).

Durante los años 1999-2001 se realizaron aplicaciones de zinc en la zona maicera de la Argentina, utilizando análisis de suelo y foliar; evaluando la respuesta del cultivo a la fertilización con Zn en el rendimiento de maíz. Los resultados no fueron consistentes, en varios sitios de elevada fertilidad natural y con dosis elevadas de N y P se observó un aumento significativo en los rendimientos. Los productos utilizados para los ensayos fueron sulfato de zinc hepta hidratado, en dosis de 5 a 10 kilogramos por hectárea de Zn y también quelatos de Zn. De todas las fuentes de Zn utilizadas, el sulfato de zinc hepta hidratado fue el que presentó mayor respuesta. Durante el 2001 se realizaron aplicaciones al suelo, obteniendo respuestas positivas en 5 de 14 sitios evaluados (Melgar et. al., 2001).

Según el International Plant Nutrition Institute (2012), del 2009 al 2012 se realizaron dieciocho ensayos de evaluación de dosis de zinc (Zn) con otros nutrientes como base entre ellos nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). Los ensayos se establecieron en Buenos Aires (9 de Julio, Balcarce, Lincoln, Gral. Villegas, Pergamino), Córdoba (Alejo Ledesma, Chaján, Adelia María, Guatimozin y Rio Cuarto) y Santa Fe (San Justo, Maria Teresa, Rafaela, Wheelwright y Oliveros). Los tratamientos que fueron evaluados incluyeron: N P; N P S, y cuatro dosis de Zn de 0.5, 1, 1.5 y 2 kg/ha de Zn. Las fuentes utilizadas fueron fosfato monoamónico (MAP), MES10 ® (12-40-0-10S; Mosaic de Argentina) y MESZ ® (12-40-0-10S-1Zn; Mosaic de Argentina). Las dosis de N, P y S fueron de 180 kg N (N suelo + N fertilizante), 35 kg P y 20 kg S (Melgar et. al., 2001).

Tabla 1.  
*Rendimiento de maíz con aplicación de sulfato de zinc.*

Tratamiento y dosis de Zn	Rendimiento de maíz (kg/ha)
N-P	9,996 D
N-P-S	10,274 C
N-P-S-Zn 0.5 kg/ha	10,534 B
N-P-S-Zn 1.0 kg/ha	10,566 B
N-P-S-Zn 1.5 kg/ha	10,761 A
N-P-S-Zn 2.0 kg/ha	10,713 AB

La respuesta promedio al tratamiento N P S Zn, a la dosis de 1.5 Kg Zn/ha, fue del 7.6% superior (765 kg/ha) respecto al tratamiento N P y del 4.7% superior (487 kg/ha) respecto al tratamiento N P S. Las respuestas a Zn fueron estadísticamente significativas en doce de los dieciocho sitios evaluados. En ningún sitio se observó una respuesta negativa a la aplicación de Zn.

## 2.21 Descripción de la planta de maíz

El maíz es el fruto maduro de la planta por efecto de la polinización. La planta es anual, de la familia de las poaceae, es monoica por tener las flores masculinas y femeninas en la misma planta pero en diferente posición, siendo la flor masculina la que se forma al final del tallo y la flor

femenina en las axilas de las hojas en el tallo principal, distinguiéndose por los pelos del elote en formación; las plantas son fecundadas por polinización cruzada o autofecundación y su reproducción se hace por medio de semillas (Fuentes, 2002).

### **2.21.1 Tallo**

El tallo es simple, erecto, de elevada longitud, pudiendo alcanzar los cuatro metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal (Cristiani, 1984).

### **2.21.2 Inflorescencia**

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral (Cristiani, 1984).

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1 Definición del problema y justificación de la investigación

En Guatemala se presentan dos problemas respecto al cultivo del maíz; el primer problema es su baja productividad, debido al bajo nivel de tecnificación, en la producción y la comercialización interna. El segundo problema es la falta de asistencia técnica en la producción y la escasa cobertura de las semillas de variedades mejoradas (Fuentes, 2002).

Para las condiciones del trópico bajo de Guatemala por varios años se ha evaluado la respuesta del maíz a la fertilización con N, P, K y S, y se han tenido respuestas significativas al N; pero hay poca información a nivel nacional sobre el uso de micronutrientes en el programa de fertilización en el cultivo de maíz, razón principal para llevar a cabo la evaluación de la incorporación del micro elemento zinc, debido a que en evaluaciones realizadas por el IPNI (International Plant Nutrition Institute) del 2009 al 2012 en la zona maicera de Argentina, incorporando el Zn y el B al programa de fertilización en el suelo, lograron observar un incremento en la producción (IPNI, 2012).

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los nutrimentos que con más frecuencia limitan la producción de maíz, aunque el azufre, magnesio y algún micronutriente como el zinc son importantes para la producción, en la mayoría de los suelos en donde se cultiva esta planta no es necesario aplicarle elementos menores tales como cobre, zinc, boro, hierro, magnesio y molibdeno, debido a que por lo general los suelos del país disponen de estos elementos por lo cual se ha tomado en cuenta esto para realizar la investigación de cuál es la influencia del elemento zinc sobre el total de la producción.

Es por ello que se evaluaron cuatro dosis de sulfato de zinc en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en aldea el Reparo, Nueva Concepción, Escuintla, para conocer la influencia del zinc sobre el rendimiento de grano de maíz.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Evaluar el efecto de la aplicación de cuatro dosis de sulfato de zinc sobre el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.), en la aldea El Reparó, Nueva Concepción, Escuintla

### **4.2 Específicos**

Determinar el efecto de cuatro dosis de sulfato de zinc sobre el rendimiento de grano de maíz (kg/ha).

Determinar el efecto de las dosis de sulfato de zinc sobre la concentración de Zn en el tejido foliar.

Determinar el efecto de las dosis de sulfato de zinc sobre la altura de planta, a los 60 días después de la aplicación.

Establecer la dosis de sulfato de zinc que sea económicamente factible entre los tratamientos evaluados.

## **5. HIPÓTESIS**

Al menos una dosis de sulfato de zinc mejorará el rendimiento de grano de maíz.

Al menos una dosis de sulfato de zinc incrementará la concentración de zinc en el tejido foliar.

Al menos una dosis de sulfato de zinc generará una mayor altura de planta.

Al menos una dosis de sulfato de zinc será económicamente factible para usarse en el cultivo de maíz.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Localización del experimento

El ensayo se llevó a cabo en la aldea El Reparo, Nueva Concepción, Escuintla. Se encuentra localizada a una distancia de 93 km de la cabecera departamental de Escuintla. Forma parte de la Región Centro o Región V del país. Tiene una extensión total de 554.52 km<sup>2</sup>, lo que constituye el 6.27% del territorio nacional. Las coordenadas de ubicación del lugar son: Latitud 14° 10' 11.5" N, Longitud 91° 14' 08.8" O. Las zonas de vida son Bosque seco sub tropical BS-S y Bosque subtropical cálido BH-S. La temperatura promedio anual es de 25 grados centígrados. El rango de precipitación está entre los 500 y 2,000 mm anuales en todo el territorio, a excepción de la franja costera es de 1,200 hasta los 2,000 mm (Posadas, 2009).

### 6.2 Material experimental

- ✓ Semilla de maíz híbrido Dekalb DK 390
- ✓ Sulfato de zinc hepta hidratado (22% de zinc).

### 6.3 Factor estudiado

- ✓ Dosis de sulfato de zinc, al suelo.

### 6.4 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.

*Tratamientos de sulfato de zinc al suelo en el cultivo de maíz*

Tratamientos	Fuentes de zinc	Dosis (kg/ha)
T1	Sulfato de zinc hepta hidratado	0.5
T2	Sulfato de zinc hepta hidratado	1
T3	Sulfato de zinc hepta hidratado	3
T4	Sulfato de zinc hepta hidratado	5
T5	Testigo	0



Las dosis evaluadas se definieron en base a información de dosis recomendadas de zinc para el cultivo del maíz, y evaluaciones similares realizadas en otros países con diferentes variedades. La aplicación de cada una de las dosis de zinc respectivamente se llevó a cabo al momento de la siembra de maíz, agregadas al programa nutricional del cultivo, el tratamiento 5 que es el testigo recibió todo el programa de nutrición igual que todos los tratamientos, a este solo se le omitió el elemento Zn.

## 6.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Se manejaron cinco tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 20 parcelas o unidades experimentales.

## 6.6 Modelo estadístico

Cada observación del experimento es expresada mediante una ecuación lineal en los parámetros, el conjunto conforma el modelo para el diseño de bloques completos al azar:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \sum_{ij}$$

Donde:

$y_{ij}$  : La variable aleatoria que representa la observación (i)-ésima del bloque (j)-ésimo.

$\mu$ : es un efecto constante. Media global.

$\tau_i$  : El efecto producido por el nivel i-ésimo del factor principal.

$\beta_j$  : El efecto producido por el nivel j-ésimo del factor de bloque.

$\sum_{ij}$  : Error experimental

## 6.7 Unidad experimental

El ensayo se conformó por 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental (figura 1) (UE) tuvo una longitud de 10 metros y 6.4 metros de ancho; se utilizaron 8 surcos distanciados cada uno a 0.75 m y en el surco, las plantas estuvieron distanciadas a 0.40 metros, fueron colocadas dos semillas por postura.

La parcela neta tuvo 8 metros de longitud y 3.2 metros de ancho.

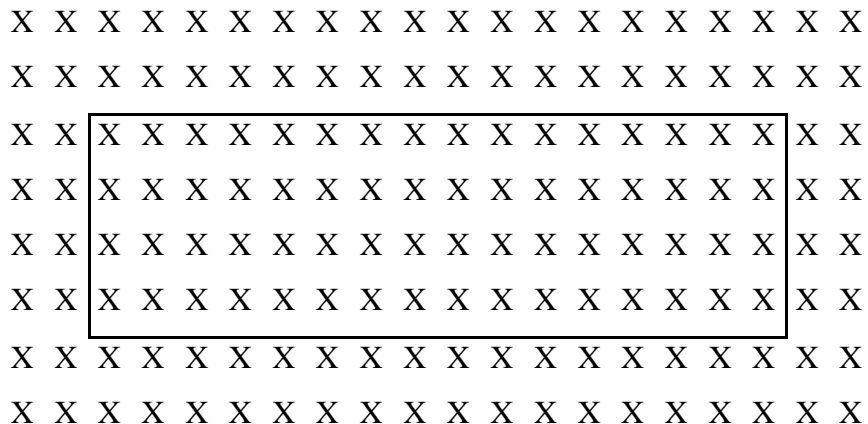


Figura 1. Unidad experimental

### 6.8 Croquis de campo

En la figura 2 se muestra la forma en que quedaron distribuidos los tratamientos en el campo.

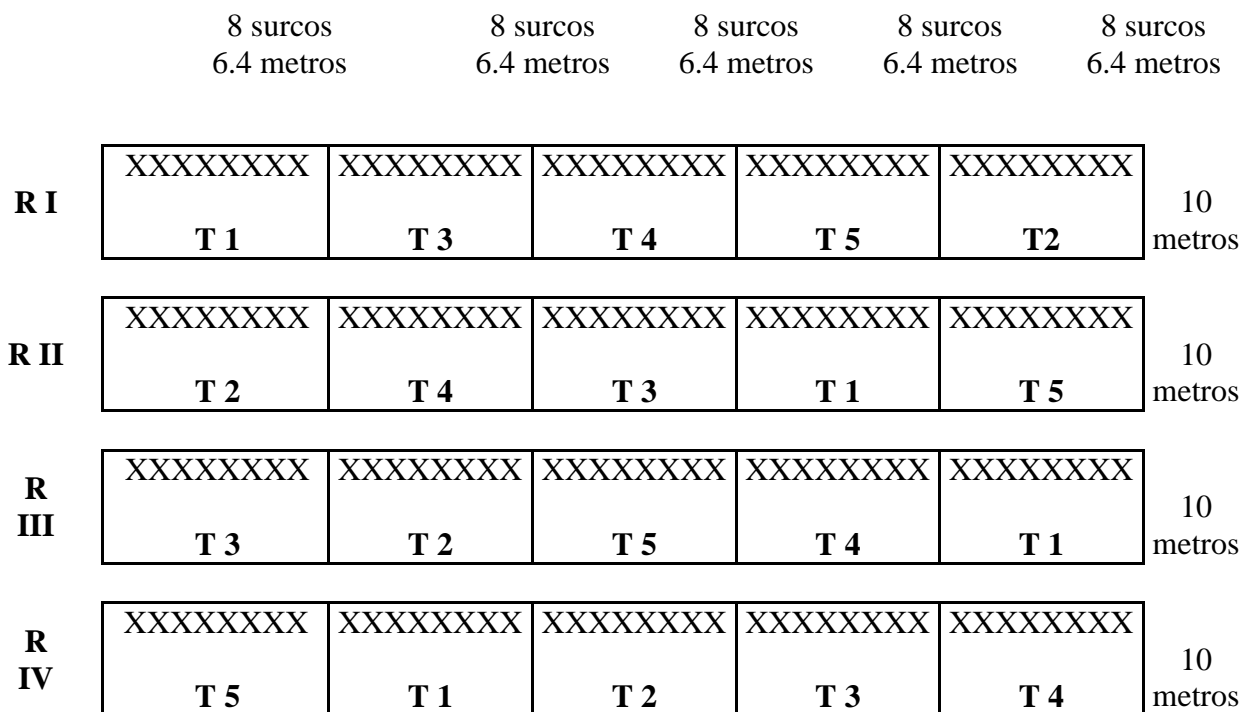


Figura 2. Distribución de los tratamientos en el campo.

## 6.9 Manejo del experimento

### 6.9.1 Preparación del terreno y la semilla

La preparación consistió en la limpieza del sitio, seguido del marcado y trazado del terreno, de manera de dejar bien definidas las unidades experimentales.

### 6.9.2 Siembra

Se realizó en forma manual, depositando dos semillas por postura, a un distanciamiento de 0.40 m entre postura y 0.75 m entre surcos.

### 6.9.3 Fertilización

La fertilización se llevó a cabo en tres etapas, la primera aplicada al momento de la siembra, en la cual se aplicó la dosis completa del zinc en conjunto con nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio y azufre tal como se muestra en la tabla 4; la segunda cuando la planta presentó estado vegetativo V6 (cuando la planta tenía seis hojas verdaderas desarrolladas) esta únicamente se realizó con urea, la tercera aplicación cuando la planta estuvo en estado vegetativo V10 (cuando la planta tenía diez hojas verdaderas desarrolladas) esta se realizó únicamente con urea.

En las tablas 3, 4, 5 y 6 se detalla la dosis en kilos por hectárea de cada uno de los elementos.

Tabla 3

*Dosis utilizada en cada uno de los tratamientos (kg/ha)*

Nutriente	T1	-T2	T3	T4	T5
N	160	160	160	160	160
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	59	59	59	59	59
K <sub>2</sub> O	47	47	47	47	47
MgO	8	8	8	8	8
S	9	10	11	12	9
Zn	0.50	1.00	3.00	5.00	0.00

Tabla 4

*Dosis utilizada en la primera aplicación a cada tratamiento (kg/ha).*

Nutriente	T1	T2	T3	T4	T5
N	34	34	34	34	34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	59	59	59	59	59
K <sub>2</sub> O	47	47	47	47	47
MgO	8	8	8	8	8
S	9	10	11	12	9
Zn	0.50	1.00	3.00	5.00	0.00

Tabla 5

*Dosis utilizada en la segunda aplicación a cada tratamiento (kg/ha).*

Nutriente	T1	T2	T3	T4	T5
N	63	63	63	63	63

Tabla 6

*Dosis utilizada en la tercera aplicación a cada tratamiento (kg/ha).*

Nutriente	T1	T2	T3	T4	T5
N	63	63	63	63	63

#### 6.9.4 Control de malezas

Se realizaron dos controles químicos: el primero a los dos días antes de la siembra, con Glifosato, luego un segundo control químico con paraquat a los 35 días después de la siembra.

### **6.9.5 Manejo de plagas**

Se realizaron dos aplicaciones de insecticida sistémico, para el control de gusano cogollero, la primera a los 15 días después de la siembra, y la segunda los 45 días después de la siembra.

### **6.9.6 Cosecha**

La cosecha se realizó a los 125 días después de la siembra.

## **6.10 Variables respuesta**

### **6.10.1 Rendimiento del maíz (kg/ha)**

Se pesó el maíz que no estaba dañado (podrido), producido en cada parcela neta, para obtener el peso de los rendimientos en campo y se transpolaron a kg/ha.

El contenido de humedad del grano se determinó usando un medidor de humedad.

### **6.10.2 Contenido de zinc foliar (ppm)**

Se hicieron análisis foliares, tomando la muestra al momento en que la planta tenía seis hojas verdaderas (estado vegetativo V6).

Las muestras fueron secadas en horno a una temperatura de 80 °C durante un tiempo de 16 horas, luego se trituraron y se enviaron al laboratorio en Estados Unidos para su análisis.

### **6.10.3 Altura de plantas (cm)**

Se tomó una medición de la altura de las plantas a los 60 días después de la siembra, que es cuando la planta se encuentra en estado de panojamiento, se tomaron 10 plantas al azar dentro del área marcada como parcela neta, la medición se hizo hasta la punta de la espiga.

## **6.11 Análisis de la información**

A las variables de respuesta anteriores se les hizo un análisis de varianza (ANDEVA). Cuando se determinaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar una prueba de medias, utilizando Tukey (0.05).

Se realizó un análisis económico de los tratamientos evaluados, donde se obtuvo la utilidad neta y la rentabilidad de cada tratamiento.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Rendimiento de maíz (kg/ha)

En el tabla 7 se presentan los resultados del análisis de varianza para la variable rendimiento de maíz (kg/ha).

Tabla 7

*Análisis de varianza para la variable rendimiento de maíz (kg/ha).*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	5555368.53	7	793624.08	4.06	0.0164*
Tratamiento	3484495.49	4	871123.87	4.46	0.0194*
Bloques	2070873.04	3	690291.01	3.53	0.0485*
Error	2345045.27	12	195420.44		
Total	7900413.81	19			

CV = 6.48%

\* = diferencia significativa

El análisis de varianza para la variable rendimiento de maíz (kg/ha), muestra que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados. Por lo anterior, se procedió a realizar una prueba de medias para los tratamientos, la cual se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

*Prueba de separación de medias para la variable rendimiento de maíz (kg/ha).*

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Error experimental</b>	<b>Tukey 0.05*</b>
T5	7421.56	221.03	A
T3	7028.40	221.03	A B
T4	6835.54	221.03	A B
T1	6695.38	221.03	A B
T2	6149.01	221.03	B

\* = Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

De acuerdo a los resultados de la prueba de separación de medias, se observa que el tratamiento 5 que es el testigo sin aplicación, muestra el mejor rendimiento, con una media de 7421.56 kg/ha de maíz. Estadísticamente no existe diferencia en el resto de tratamientos. Como se observa en la figura 3, los niveles de fósforo en la planta se encuentran en exceso; la literatura indica que altos contenidos de fósforo llevan a la insolubilización de zinc, limitando su disponibilidad para las plantas de maíz. También se observa en la tabla 12, que hay un alto contenido de hierro, esto genera un antagonismo con la absorción de zinc en la raíz de maíz. Estas dos condiciones influyeron para que el zinc aplicado en los tratamientos evaluados no mostrara un efecto significativo en el rendimiento de maíz.

## 7.2 Contenido de zinc foliar (ppm)

En la tabla 9 se presentan los resultados del análisis de varianza para la variable contenido de zinc foliar (ppm).

Tabla 9

*Análisis de varianza para la variable contenido de zinc foliar (ppm).*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	160.54	7	22.93	0.91	0.5295 NS
Tratamiento	122.63	4	30.66	1.22	0.3536 NS
Bloques	37.91	3	12.64	0.50	0.6879 NS
Error	301.99	12	25.17		
Total	462.53	19			

CV = 13.62%

NS = diferencia no significativa

El análisis de varianza para la variable contenido de zinc foliar, muestra que no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados.

Suelos con altos contenidos de P, provenientes del material originario (o debido a la fertilización fosfatada aplicada en la línea de siembra) llevan a la insolubilización del Zn en la superficie de las raíces, limitando su disponibilidad para las plantas (MONSANTO, 2017).



Entre mayor sea la aplicación de fósforo menor absorción de zinc. Tradicionalmente se creía que la razón de este antagonismo se debía a que se formaban complejos de Zn-P que se precipitaban; es una teoría validada, pero sin un sustento en su totalidad, se ha visto criticada por investigaciones recientes que mencionan que este antagonismo no está directamente relacionado con la interacción de estos dos iones, sino más bien a una inhibición de la actividad de las micorrizas, responsables de la absorción de más del 35 % del zinc por las plantas, las cuales reducen su actividad por las altas concentraciones de fósforo (INTAGRI, 2017).

### 7.3 Altura de planta (cm)

En la tabla 10 se presentan los resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).

Tabla 10

*Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	176.49	7	25.21	1.03	0.4584 NS
Tratamiento	100.03	4	25.01	1.02	0.4344 NS
Bloques	76.47	3	25.49	1.04	0.4090 NS
Error	293.40	12	24.45		
Total	469.90	19			

CV = 6.48%

NS = diferencia no significativa

De acuerdo al análisis de varianza para la variable altura de planta, no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados. No existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, ya que la absorción de zinc estuvo limitada por el exceso de hierro y fósforo en el suelo.

## 7.4 Análisis económico

En la tabla 11 se presenta un análisis económico de los tratamientos evaluados.

Tabla 11

*Análisis económico de la aplicación de zinc en maíz.*

Tratamientos	Costo de producción en \$\$/ha	Dosis zinc (kg)	dosis comercial sulfato zinc	Costo zinc/kg	Costo tratamiento/ha	Costo total/ha	Rendimiento grano kg/Ha	Precio/ Kg maíz	Ingreso total/ha	Utilidad neta/ha	Rentabilidad
1	\$987,00	0,5	2,22	\$1,10	\$2,45	\$989,45	6695,38	\$0,28	\$1.874,71	\$885,26	89%
2	\$987,00	1	4,45	\$1,10	\$4,89	\$991,89	6149,01	\$0,28	\$1.721,72	\$729,83	74%
3	\$987,00	3	13,34	\$1,10	\$14,68	\$1.001,68	7028,40	\$0,28	\$1.967,95	\$966,28	96%
4	\$987,00	5	22,24	\$1,10	\$24,46	\$1.011,46	6835,54	\$0,28	\$1.913,95	\$902,49	89%
Testigo	\$987,00	0	0,00	\$1,10	\$0,00	\$987,00	7421,56	\$0,28	\$2.078,04	\$1.091,04	111%

Como se observa en la tabla anterior, el testigo absoluto presenta la mejor rentabilidad con 111% debido a que es el tratamiento que presentó el mejor rendimiento de 7421.56 Kg/ha.

En segundo lugar, se encuentra el tratamiento 3, que representa la dosis de 3 kg/ha de zinc, con una rentabilidad del 96%, con una producción de 7028.40 Kg/ha.

El tratamiento 4 con dosis de 5 kg/ha, obtuvo una rentabilidad del 89% con una producción de 6835.54 Kg/ha.

El tratamiento 1 con dosis de 0.5 kg/ha, obtuvo una rentabilidad del 89% con una producción de 6695.38 kg/ha.

El tratamiento 2 con dosis de 1 kg/ha, obtuvo una rentabilidad del 74% con una producción de 6149.01Kg/ha.

## 8. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló esta investigación, la aplicación de zinc no mostro mejora en el rendimiento del grano de maíz. El testigo sin aplicación presentó el mejor rendimiento de grano, con una media de 7421.56 kg/ha.

Las concentraciones de zinc en el tejido foliar de los tratamientos evaluados no mostraron diferencia estadísticamente significativa.

La variable altura de planta no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados.

El tratamiento testigo sin ninguna aplicación o incorporación de zinc en el programa de fertilización fue el que presento una rentabilidad del 111%, bajo las condiciones de suelo en Aldea El Reparó, Nueva Concepción, Escuintla.

El tratamiento con una dosis de 3 kg/ha de zinc, con una rentabilidad del 96%, presento el segundo lugar.

## **9. RECOMENDACIÓN**

Bajo las condiciones en que se desarrolló esta investigación, la aplicación de zinc no mostro mejora en el rendimiento del grano de maíz, por lo cual siempre es necesario realizar un análisis de suelo previo a la siembra del cultivo para poder definir las deficiencias que el suelo presenta.

Realizar nuevamente la investigación, bajo otras condiciones de suelo, y establecer que existan deficiencia de zinc u otros elementos que son limitantes en la producción, para definir las dosis evaluar.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Bolaños, J., & Edmeadea, G. (1993). *Selección de maíz para mejorar el rendimiento*. México: CIM.

Castellanos, C. (05 de 06 de 2015). *El Zinc en suelos y cultivos agrícolas*. Obtenido de Agronomía para todos: <http://www.agronomiaparatodos.org/2012/01/el-zinc-en-suelos-y-cultivos-agricolas.html>

Cristiani, A. (1984). *Cultivo del maíz híbridos tropicales*. Guatemala: Cristiani Burkard.

Fuentes, M. (2002). *El cultivo de maíz en Guatemala*. Guatemala: Insituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA.

INTAGRI. (1 de septiembre de 2017). [www.intagri.com](http://www.intagri.com). Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes>

IPNI, I. P. (2012). *Evaluación de la respuesta a la aplicación de zinc en maíz*. Argentina: IPNI.

Jugenheimer, R. (1990). *Variedades mejoradas métodos de cultivo y producción de semillas*. México: Limusa.

Lafitte, R. (1994). *Identificación de los problemas en la producción de maíz tropical*. México: CIMMYT.

Melgar, R., Lavandera, J., Torres, M., & Ventimiglia, L. (2001). *Respuesta de la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz*. Argentina: Ciencias del Suelo.

MONSANTO. (11 de septiembre de 2017 de septiembre de 2017). [www.dekalb.com.ar](http://www.dekalb.com.ar). Obtenido de <http://www.dekalb.com.ar/acerca-de-la-importancia-del-zinc-en-el-cultivo-de-maiz-35>

- Olson, R., & Lucas, R. (1966). *Fertility requirements: Secondary and micronutrients. pp 285-330, in advances in corn production.* Iowa, United State: Iowa State University Press, Ames.
- Orellana, A., & Dardón, D. (s.f.). *Aspectos generales y guía para el manejo agronómico del maíz en Guatemala.* Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
- Posadas, J. (2009). *Agricultura organizada de pequeña, mediana y gran escala.* Guatemala: USAC.
- Ritchie, S., & Hanway, J. (2003). *Como se desarrolla una planta de maíz.* Iowa, Estados Unidos: Universidad de Ciencia y Tecnología del estado de Iowa.
- Segura, L. (2008). *Evaluación de 19 híbridos de maíz blanco (Zea mays L.) en la facultad de agronomía en la zona 12 Guatemala.* Guatemala.

## 11. ANEXOS

### 11.1 Análisis foliares

Tabla 12

*Análisis foliares por tratamiento y repetición*

Tratamiento	Repetición	N. Dumas	Fósforo	Azufre	Cloruros	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Boro	Hierro	Manganeso	Cobre	Zinc	Molibdeno	Aluminio	
		(%)	(%)	(%)	(ppm Cl-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
		<0.5	<0.02	<0.03	<300	<0.025	<0.038	<0.02	<250	<5	<5	<5	<5	<5	<10	<1	
		7	1	2	10000	7	1,5	11	5000	100	250	225	60	100	3	500	
1	1	3,93	0,49	0,28	606,99	0,38	0,33	6,94	<250	7,97	219,98	35,25	6,15	34,35	<10	<1	
1	2	3,88	0,57	0,26	1221,60	0,44	0,33	7,33	<250	8,49	189,94	36,40	7,33	44,44	<10	<1	
1	3	3,54	0,43	0,25	1146,73	0,39	0,34	6,30	<250	8,67	244,14	42,39	6,57	41,50	<10	<1	
1	4	3,86	0,45	0,25	1875,90	0,43	0,37	6,95	<250	8,39	263,93	50,77	7,13	42,70	<10	<1	
2	1	4,07	0,48	0,26	3320,77	0,49	0,41	8,08	<250	9,12	284,30	44,04	6,53	37,05	<10	<1	
2	2	3,96	0,51	0,26	1157,95	0,41	0,40	7,03	<250	10,39	188,84	45,27	6,08	34,93	<10	<1	
2	3	3,76	0,44	0,22	2181,74	0,37	0,33	7,59	<250	8,65	194,42	36,07	5,78	31,78	<10	<1	
2	4	3,19	0,36	0,21	953,80	0,34	0,28	5,82	<250	7,22	144,61	29,54	5,52	32,99	<10	<1	
3	1	3,78	0,56	0,26	755,84	0,44	0,38	7,43	<250	8,92	389,48	45,70	7,15	41,76	<10	<1	
3	2	3,26	0,46	0,22	598,42	0,37	0,30	6,77	<250	7,64	177,85	36,21	<5	33,50	<10	<1	
3	3	3,80	0,52	0,26	638,45	0,44	0,35	6,93	<250	8,62	235,49	33,22	6,19	37,95	<10	<1	
3	4	3,47	0,53	0,24	558,30	0,44	0,35	7,20	<250	8,30	196,39	34,42	6,48	47,31	<10	<1	
4	1	4,07	0,51	0,24	1529,74	0,42	0,40	7,71	<250	7,91	168,16	34,91	7,05	44,26	<10	<1	
4	2	3,98	0,42	0,20	1608,63	0,43	0,38	8,06	<250	7,01	133,44	37,59	5,13	35,14	<10	<1	
4	3	3,60	0,38	0,22	414,71	0,38	0,29	6,83	<250	7,38	154,87	35,46	5,04	30,03	<10	<1	
4	4	3,31	0,45	0,21	641,01	0,39	0,39	6,51	<250	7,82	221,07	38,10	6,79	33,29	<10	<1	
5	1	3,71	0,49	0,29	1174,85	0,37	0,34	7,10	<250	6,76	163,04	33,39	6,73	40,14	<10	<1	
5	2	3,56	0,50	0,23	1076,79	0,39	0,35	6,99	<250	6,97	194,67	39,80	6,66	46,19	<10	<1	
5	3	3,27	0,45	0,22	884,75	0,38	0,30	6,69	<250	6,18	131,59	35,65	5,52	36,20	<10	<1	
5	4	3,73	0,43	0,24	1819,44	0,31	0,28	6,83	<250	7,54	158,19	32,85	5,15	35,21	<10	<1	

Aumentan su concentración de hierro y manganeso, generando un antagonismo con el Zn en los sitios de absorción en la raíz de la planta. Similar situación ocurre en suelos con alta disponibilidad en cobre (MONSANTO, 2017)

Tabla 13

Análisis de macronutrientes por tratamiento y repetición.

Tratamiento	Repetición	N. Dumas	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
		<0.5	<0.02	<0.02	<0.025	<0.038
		7	1	11	7	1,5
1	1	3,93	0,49	6,94	0,38	0,33
1	2	3,88	0,57	7,33	0,44	0,33
1	3	3,54	0,43	6,30	0,39	0,34
1	4	3,86	0,45	6,95	0,43	0,37
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,80</b>	<b>0,48</b>	<b>6,88</b>	<b>0,41</b>	<b>0,34</b>
<b>DESVEST</b>		0,18	0,06	0,43	0,03	0,02
<b>VARIACIÓN</b>		5%	12%	6%	7%	6%
2	1	4,07	0,48	8,08	0,49	0,41
2	2	3,96	0,51	7,03	0,41	0,40
2	3	3,76	0,44	7,59	0,37	0,33
2	4	3,19	0,36	5,82	0,34	0,28
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,75</b>	<b>0,45</b>	<b>7,13</b>	<b>0,40</b>	<b>0,35</b>
<b>DESVEST</b>		0,39	0,07	0,97	0,06	0,06
<b>VARIACIÓN</b>		10%	15%	14%	16%	17%
3	1	3,78	0,56	7,43	0,44	0,38
3	2	3,26	0,46	6,77	0,37	0,30
3	3	3,80	0,52	6,93	0,44	0,35
3	4	3,47	0,53	7,20	0,44	0,35
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,58</b>	<b>0,52</b>	<b>7,08</b>	<b>0,42</b>	<b>0,35</b>
<b>DESVEST</b>		0,26	0,04	0,29	0,04	0,03
<b>VARIACIÓN</b>		0,07	0,08	0,04	0,08	0,09
4	1	4,07	0,51	7,71	0,42	0,40
4	2	3,98	0,42	8,06	0,43	0,38
4	3	3,60	0,38	6,83	0,38	0,29
4	4	3,31	0,45	6,51	0,39	0,39
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,74</b>	<b>0,44</b>	<b>7,28</b>	<b>0,40</b>	<b>0,36</b>
<b>DESVEST</b>		0,35	0,06	0,73	0,02	0,05
<b>VARIACIÓN</b>		0,09	0,13	0,10	0,06	0,13
5	1	3,71	0,49	7,10	0,37	0,34
5	2	3,56	0,50	6,99	0,39	0,35
5	3	3,27	0,45	6,69	0,38	0,30
5	4	3,73	0,43	6,83	0,31	0,28
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,57</b>	<b>0,47</b>	<b>6,90</b>	<b>0,36</b>	<b>0,32</b>
<b>DESVEST</b>		0,22	0,03	0,18	0,04	0,03
<b>VARIACIÓN</b>		0,06	0,07	0,03	0,10	0,11



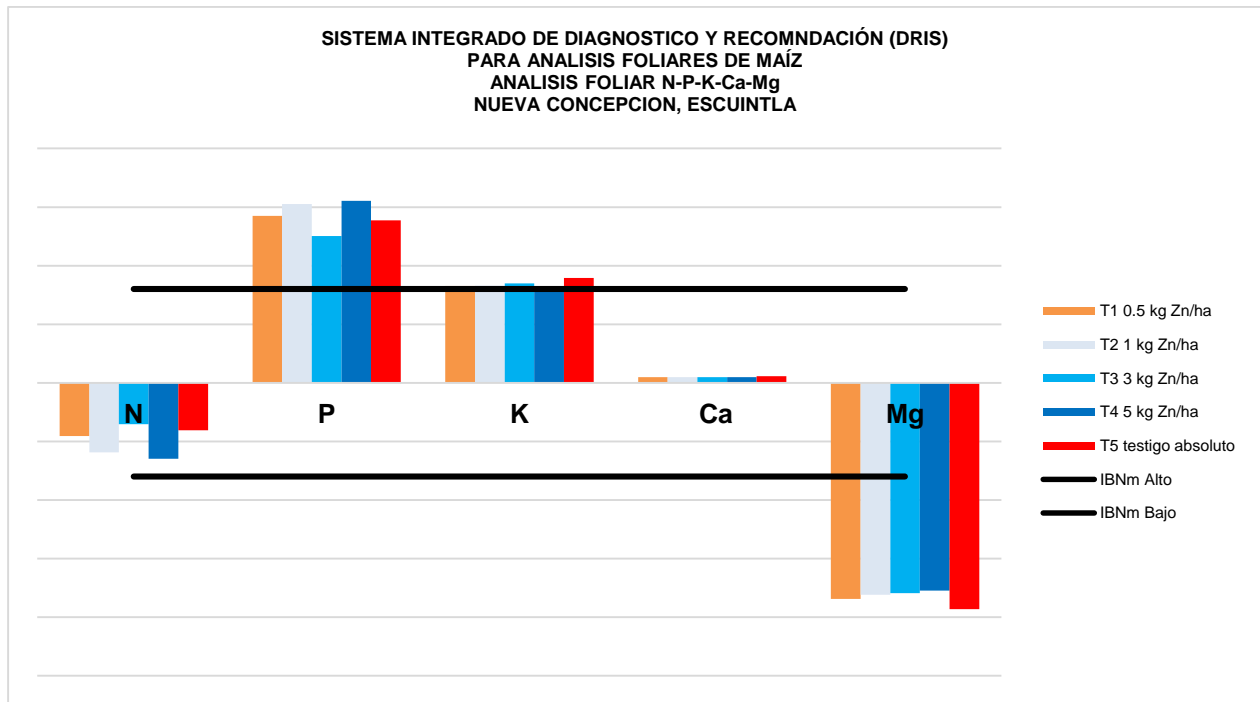


Figura 3. Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) para los análisis foliares por tratamiento.

Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), es un conjunto de normas que hacen un diagnóstico y evaluación más completo del estado nutricional de la planta, ya que clasifica en orden de importancia los nutrientes que requiere la misma, toma en cuenta su interacción, el balance nutricional y detecta deficiencias y excesos relativos, además puede realizar diagnósticos en cualquier etapa de desarrollo y diferente posición de la hoja en la planta. En otra palabra interpreta los análisis de plantas para estudiar el estado nutricional de un cultivo.

Se observa en la gráfica del DRIS que existe una condición de exceso de fósforo en la planta, y también una alta deficiencia de magnesio.

## 11.2 Fotografías de ejecución de tesis



*Figura 4. Trazo de unidades experimentales.*



*Figura 5. Día de la siembra de cada unidad experimental.*



Figura 6. Dosis de fertilizante por unidad experimental.



*Figura 7. Aplicación del fertilizante por unidad experimental.*



*Figura 8. Medición de alturas en campo.*